

(11)Publication number : 2003-121355

(43)Date of publication of application : 23.04.2003

(51)Int.Cl.

G01N 21/35

G01N 21/01

G01N 21/41

H01S 3/00

(21)Application number : 2001-312866

(71)Applicant : TOCHIGI NIKON CORP
NIKON CORP

(22)Date of filing : 10.10.2001

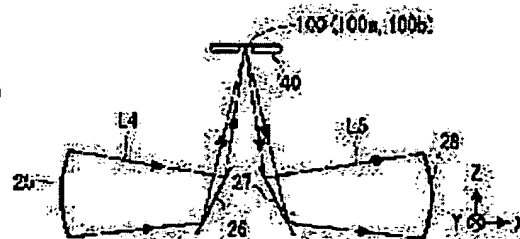
(72)Inventor : IWAMOTO TOSHIYUKI

(54) SAMPLE INFORMATION-ACQUIRING METHOD AND TERAHERTZ LIGHT APPARATUS

(57)Abstract

PROBLEM TO BE SOLVED: To reduce the trouble for measurement, simplify processing, and improve accuracy in the information of a sample that is obtained finally.

SOLUTION: Terahertz light L4 that is generated from a terahertz light generator is guided to a specific region on the lower surface of a sample 100a, terahertz light L5 that is reflected by the specific region is detected by a terahertz light detector, and information on the sample 100a is acquired based on the detection result from the terahertz light detection section. The sample 100a is placed on a sample holder 40 where the upper surface is set to be a horizontal surface so that the lower surface of the sample 100a becomes a horizontal surface. The sample holder 40 has an opening for transmitting terahertz light L4 and L5. The terahertz light L5 that is generated from the terahertz light generator is allowed to enter the specific region on the lower surface of the sample 100a from the lower side, and the terahertz light L5 that is reflected from the specific region is guided to the terahertz light detector.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

BEST AVAILABLE COPY

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2003-121355

(P2003-121355A)

(43) 公開日 平成15年4月23日 (2003. 4. 23)

(51)Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	テームコード*(参考)		
G 0 1 N	21/35	G 0 1 N	21/35	Z	2 G 0 5 9
	21/01		21/01	B	5 F 0 7 2
	21/41		21/41	Z	
H 0 1 S	3/00	H 0 1 S	3/00	A	

審査請求 未請求 請求項の数 6 O L (全 10 頁)

(21) 出願番号 特願2001-312866(P2001-312866)

(22) 出願日 平成13年10月10日 (2001. 10. 10)

(71) 出願人 592171153

株式会社栃木ニコン

栃木県大田原市実取770番地

(71) 出願人 000004112

株式会社ニコン

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号

(72) 発明者 岩本 敏志

栃木県大田原市実取770番地 株式会社栃
木ニコン内

(74) 代理人 100096770

弁理士 四宮 通

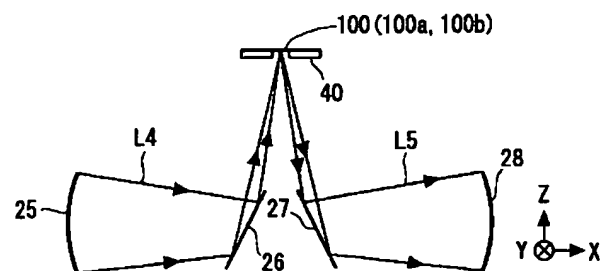
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 試料情報取得方法及びテラヘルツ光装置

(57) 【要約】

【課題】 測定の手数を低減し、処理を簡単にし、しかも、最終的に得られる試料の情報の精度を向上させる。

【解決手段】 テラヘルツ光発生器から発生したテラヘルツ光L4を試料100aの下面の所定領域に導き、前記所定領域で反射されたテラヘルツ光L5をテラヘルツ光検出器により検出し、前記テラヘルツ光検出部からの検出結果に基づいて試料100aの情報を取得する。試料100aの下面が水平面となるように、上面が水平面とされた試料ホルダ40上に、試料100aを載置する。試料ホルダ40は、テラヘルツ光L4、L5を透過させる開口を有する。テラヘルツ光発生器から発生したテラヘルツ光L5を試料100aの下面の前記所定領域に下側から入射させ、前記所定領域で反射されたテラヘルツ光L5をテラヘルツ光検出器に導く。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】 テラヘルツ光発生部から発生したテラヘルツ光を試料の所定面の所定領域に導き、前記所定領域で反射されたテラヘルツ光を試料光検出部により検出し、前記テラヘルツ光検出部からの検出結果に基づいて前記試料の情報を取得する試料情報取得方法において、

前記所定面が下側に向いた状態で前記試料を保持し、前記テラヘルツ光発生部から発生したテラヘルツ光を前記所定面の前記所定領域に下側から入射させ、前記所定領域で反射されたテラヘルツ光を前記テラヘルツ光検出部に導くことを特徴とする試料情報取得方法。

【請求項 2】 上側に前記試料を載置し得る載置部を有するホルダであって、前記所定面を下側にして前記載置部上に載置した前記試料の前記所定領域に対して下側から入射して前記所定領域で反射するテラヘルツ光を通過させるホルダを用い、該ホルダの前記載置部上に前記試料を載置することにより、前記試料を重力で保持することを特徴とする請求項 1 記載の試料情報取得方法。

【請求項 3】 前記試料における前記所定面と反対側の面において少なくとも前記所定領域に対応する領域に、前記試料の屈折率と略同一の屈折率を持つ物質を配置することを特徴とする請求項 1 又は 2 記載の試料情報取得方法。

【請求項 4】 テラヘルツ光発生部から発生したテラヘルツ光を試料の所定面の所定領域に導き、前記所定領域で反射されたテラヘルツ光を試料光検出部により検出し、前記テラヘルツ光検出部からの検出結果に基づいて前記試料の情報を取得する試料情報取得方法において、

前記試料における前記所定面と反対側の面において少なくとも前記所定領域に対応する領域に、前記試料の屈折率と略同一の屈折率を持つ物質を配置することを特徴とする試料情報取得方法。

【請求項 5】 テラヘルツ光発生部と、試料を保持するホルダと、テラヘルツ光検出部と、前記テラヘルツ光発生部から発生したテラヘルツ光を前記ホルダに保持された前記試料の所定面の所定領域に導くとともに前記所定領域で反射されたテラヘルツ光を前記テラヘルツ光検出部に導く光学系と、を備え、

前記ホルダは、前記所定面が下側に向いた状態で前記試料を保持し、

前記光学系は、前記テラヘルツ光発生部から発生したテラヘルツ光を前記所定面の前記所定領域に下側から入射させ、前記所定領域で反射されたテラヘルツ光を前記テラヘルツ光検出部に導くことを特徴とするテラヘルツ光装置。

【請求項 6】 前記ホルダは、上側に前記試料を載置し得る載置部を有するとともに、前記所定面を下側にして前記載置部上に載置した前記試料の前記所定領域に対し

て下側から入射して前記所定領域で反射するテラヘルツ光を通過させることを特徴とする請求項 5 記載のテラヘルツ光装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、テラヘルツ光を用いて試料の情報を取得する試料情報取得方法及びテラヘルツ光装置に関するものである。

【0002】

【従来の技術】近年、物質の測定・検査・イメージ化及びその他の種々の分野において、超短パルスレーザによって発生させたテラヘルツパルス電磁波（テラヘルツパルス光）を用いた時系列変換テラヘルツ分光法などの、テラヘルツ光の利用技術の有用性が認識されてきており、テラヘルツ光を用いる種々のテラヘルツ光装置が、既に提供されあるいは新たに開発されようとしている。

【0003】テラヘルツ光を用いて試料の情報を得る場合、テラヘルツ光を試料に照射し、試料を透過したテラヘルツ光を検出してその検出結果に基づいて試料の情報を得る場合と、試料で反射されたテラヘルツ光を検出してその検出結果に基づいて試料の情報を得る場合とがある。ここでは、前者を透過測定、後者を反射測定という。反射測定は、試料の反射率が比較的高い場合などに行われる。

【0004】透過測定及び反射測定のいずれの場合も、例えば、試料の複素誘電率や複素屈折率などの情報を得ることができることが知られている。反射測定の場合の複素誘電率の測定について簡単に説明すると、測定すべき試料（観測試料）にテラヘルツパルス光を照射することにより前記試料で反射してテラヘルツ光検出部にて検出されるパルス光の、電場強度の時系列波形を、いわゆるポンプブローブ法により取得する。また、観測試料を、例えば金属ミラーなどの屈折率等が既知である参照すべき試料（参照試料）で置き換えて、同様に、電場強度の時系列波形を取得する。そして、観測試料により得られた時系列波形と参照試料により得られた時系列波形とから、公知の演算により観測試料の複素誘電率を求めている。

【0005】ところで、透過測定の場合、試料の一方の側からテラヘルツ光を入射させ、試料の他方の側に透過するテラヘルツ光を検出するので、光学系を構成する光学素子（例えば、放物面鏡など）を試料の両側に配置する必要がある。そこで、透過測定の場合、光学素子等の保持の容易性から、テラヘルツ光の光軸がいずれの箇所においても同一水平面内に位置するように、光学系が構成されている。したがって、試料は、試料面の法線が水平面内に位置するように、起立して保持されている。

【0006】従来、反射測定の場合には、透過測定の場合の光学系に対して、試料の透過側に配置されていた光学素子を単に試料の反射側に位置するように変形した光

10

20

30

40

50

学系が、用いられていた。すなわち、反射測定の場合にも、透過測定の場合と同じく、テラヘルツ光の光軸がいずれの箇所においても同一水平面内に位置するように、光学系が構成されていた。したがって、反射測定の場合にも、試料は、試料面の法線が水平面内に位置するように、起立して保持されていた。

【0007】従来の反射測定で用いられていた試料ホルダの一例を、図8乃至図10に示す。図8は、従来の試料ホルダ1を示す概略斜視図である。図9は、図8に示す試料ホルダ1に試料100を保持させたものを、異なる角度から見た概略斜視図である。図10は、図9中のA-A'矢視図である。ただし、図10において、保持バネ4bの図示は省略している。理解を容易にするため、図8乃至図10に示すように、互いに直交するX軸、Y軸及びZ軸を定義する（後述する図11乃至図14についても、同様である。）。XY平面が水平面であり、Z軸方向が鉛直方向と一致しており、+Z方向が上、-Z方向が下である。

【0008】この従来の試料ホルダ1は、水平部2と垂直部3とが断面L字状に一体化されてなる本体と、試料100を垂直部3の試料保持面3aに押し付けて保持するための保持バネ4a、4bと、を備えている。垂直部3の中央付近には、開口3bが形成されている。この開口3bは、試料保持面3aに保持された試料100の試料保持面3a側の面の所定領域に対して入射して前記所定領域で反射するテラヘルツ光を、通過させる窓部となっている。垂直部3の下部付近には、試料100の下端を支持する段部3cが形成されている。ここで、試料100は観測試料100a及び参照試料100bを代表して示しており、観測試料100a及び参照試料100bは、互いに交換して試料ホルダ1に装着される。

【0009】しかし、この従来の試料ホルダ1では、入射されたテラヘルツ光を反射する試料100の試料面（試料保持面3a側の面）のY軸方向の位置が微妙にずれてしまう。その理由は、保持バネ4a、4bのバネ力が弱い場合には、試料100a、100bは試料ホルダ1の同じ位置（Y軸方向の位置）に固定されないし、そのバネ力が強い場合には、観測試料100aと参照試料100bとを付け替えるときに余分な力が加わってしまい、試料ホルダ1自体の位置が移動してしまうためであると、考えられる。この観測試料100aと参照試料100bとのY軸方向の位置ずれの様子を、図11に模式的に示す。図11に示す例では、観測試料100aと参照試料100bとで、テラヘルツ光入射側の面のY軸方向の位置が、 Δy だけずれている。

【0010】テラヘルツ光を用いた測定において、位相のずれは非常に重要な情報の1つである。位相のずれは、物質中を進行する光が屈折率の影響を受け光路長が変化することによって生じるものである。したがって、位相のずれは、試料100a、100bの位置の変化に

伴う光路差と区別することができない。そのため、観測試料100aと測定試料100bとでY軸方向の位置が変化すると、その変化を位相のずれと誤認した位相情報を得てしまうことになる。すなわち、図11に示す例では、参照信号の測定（参照試料100bを試料ホルダ1に装着して参照試料100bで反射したテラヘルツ光の測定）と、観測信号の測定（観測試料100aを試料ホルダ1に装着して観測試料100aで反射したテラヘルツ光の測定）とで、光路差 $2\Delta y$ が生じてしまい、この光路差 $2\Delta y$ を位相のずれと誤認した位相情報を得てしまう。その結果、最終的に得られる観測試料100aの情報（例えば、複素誘電率や複素屈折率など）の測定精度が、低下してしまう。

【0011】このように、従来は、観測試料100aと参照試料100bとのY軸方向の位置ずれ Δy に起因して、最終的に得られる観測試料100aの情報の測定精度が、低下していた。

【0012】そこで、位置ずれ Δy の影響を補正する方法として、次のような方法が提案されている。この補正方法について、図12及び図13を参照して説明する。

【0013】図12は、この補正方法の説明図であり、図11に対応している。図12において、図11中の要素と同一又は対応する要素には同一符号を付し、その重複する説明は省略する。図13は、この補正方法により得られる、参照光信号（参照試料100bで反射されたテラヘルツパルス光の電場強度の時系列波形）と、補正前の観測光信号（観測試料100aで反射されたテラヘルツパルス光の電場強度の時系列波形）と、及び補正後の観測光信号（補正前の観測光信号に対して時間軸を補正して得られた信号）との、関係を示す波形図である。

【0014】この補正方法では、図12に示すように、観測試料100aのテラヘルツ光入射側の面に、厚さd及び屈折率 n_1 が既知でかつテラヘルツ領域で透明な物質101を貼り付ける。図12に示す例では、観測試料100aに貼り付けた物質101と参照試料100bとで、テラヘルツ光入射側の面のY軸方向の位置が、 $\Delta y'$ だけずれている。dは物質101の厚さである。

【0015】図12(a)に示す状態で得られる参照光信号は図13(a)に示すようになり、そのピークの時点は τ となっている。また、図12(b)に示す状態で得られる補正前の観測光信号は、図13(a)に示す参照光信号に対して、図13(b)に示すようになる。この補正方法では、補正前の観測光信号における最初の反射信号を物質101のテラヘルツ光入射側の表面での反射信号とする。図13(b)に示す例では、この最初の反射信号のピークの時点は、 τ_2' となっている。また、補正前の観測光信号における次の反射信号（すなわち、観測試料100aのテラヘルツ光入射側の面での反射信号）のピークの時点は、 $\tau_2' + \Delta\tau_1$ となっている。ここで、時点 τ_2' は、観測試料100aの物質が

10

30

40

50

参照試料 100b の物質と同一であると仮定した場合に得られる補正前の観測光信号における次の反射信号のピークの時点である。時点 $(\tau_0' + \Delta \tau_1)$ は時点 τ_0' に対して時間 $\Delta \tau_1$ だけずれている。この時間 $\Delta \tau_1$ は、観測試料 100a の物質が参照試料 100b の物質と異なることによる位相差に相当している。時点 τ_2' から時点 τ_0' までの時間 $(\tau_0' - \tau_2')$ は、物質 101 の厚さ d 及び屈折率 n_1 を用いると、 $2dn_1/c$ となる。ここで、 c は光速である。

【0016】図 13 (c) に示すように、時点 τ_0' が時点 τ_0 となるように補正前の観測光信号に対して時間軸をずらす補正を行えば、補正後の観測光信号は、観測試料 100a に物質 101 を貼り付けない状態で観測試料 100a のテラヘルツ光入射側の面の Y 軸方向の位置が参照試料 100b のテラヘルツ光入射側の面の Y 軸方向の位置と同一である場合に得られる、観測光信号と同一となる。この時間軸の補正量 $(\tau_0' - \tau_0)$ は、図 13 からわかるように、 $(2dn_1/c) - (\tau_0 - \tau_2')$ となる。ここで、 $(\tau_0 - \tau_2')$ は観測値である。そこで、この補正方法では、前述した時間軸の補正量を演算し、図 13 (c) に示すような補正後の観測光信号を得る。

【0017】このように、この補正方法によれば、理論上、観測試料 100a と参照試料 100b との Y 軸方向の位置ずれの影響をなくすることができ、最終的に得られる観測試料 100a の情報の測定精度が向上する。

【0018】ところで、従来の反射測定では、図 9 及び図 10 に示すように、観測試料 100a のテラヘルツ光入射側と反対側の面には、何らの物質が配置されるようなことがなく、その面は空気に晒されていた。

【0019】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、前述した補正方法では、いちいち観測試料 100a に物質 101 を貼り付けなければならず、測定に手数を要する。また、時間軸の補正量の演算が不可欠であるため、処理が複雑となる。また、物質 101 の厚さ d 及び屈折率 n_1 について既知の値と実際の値との間に誤差があると、その誤差に起因して補正を精度良く行うことができない可能性があり、検出信号に試料以外の物質の影響が含まれることはできるだけ避けることが望まれる。

【0020】また、前述した従来の反射測定では、観測試料 100a のテラヘルツ光入射側と反対側の面が空気に晒されていたので、図 14 に示すように、入射したテラヘルツ光は、観測試料 100a のテラヘルツ光入射側の面で反射されるのみならず、観測試料 100a のテラヘルツ光入射側と反対側の面で反射（裏面反射）される。したがって、観測試料 100a がウエハのような薄い試料である場合、裏面反射によって、観測したい信号に干渉の効果が重なるため、スペクトル分解の良い測定を行うことができない。なお、図 14 は、観測試料 10

0a における裏面反射の様子を示す説明図であり、図 11 (b) に対応している。

【0021】本発明は、前述したような事情に鑑みてなされたもので、測定に手数を要することがないとともに処理が簡単となり、しかも、最終的に得られる試料の情報の測定精度を向上させることができる試料情報取得方法及びテラヘルツ光装置を提供することを目的とする。

【0022】また、本発明は、スペクトル分解の良い測定を行うことができる試料情報取得方法を提供することを目的とする。

【0023】

【課題を解決するための手段】前記課題を解決するため、本発明の第 1 の態様による試料情報取得方法は、テラヘルツ光発生部から発生したテラヘルツ光を試料の所定面の所定領域に導き、前記所定領域で反射されたテラヘルツ光を試料の所定領域より検出し、前記テラヘルツ光検出部からの検出結果に基づいて前記試料の情報を取得する試料情報取得方法において、前記所定面が下側に向いた状態で前記試料を保持し、前記テラヘルツ光発生部から発生したテラヘルツ光を前記所定面の所定領域に下側から入射させ、前記所定領域で反射されたテラヘルツ光を試料の所定領域より検出部へ導くものである。

【0024】なお、本明細書において、上下については、重力が作用する向きを下、その反対の向きを上とする。

【0025】本発明の第 2 の態様による試料情報取得方法は、前記第 1 の態様において、上側に前記試料を載置し得る載置部を有するホルダであって、前記所定面を下側にして前記載置部上に載置した前記試料の前記所定領域に対して下側から入射して前記所定領域で反射するテラヘルツ光を試料の所定領域より検出部へ導くホルダを用い、該ホルダの前記載置部上に前記試料を載置することにより、前記試料を重力で保持するものである。

【0026】本発明の第 3 の態様による試料情報取得方法は、前記第 1 又は第 2 の態様において、前記試料における前記所定面と反対側の面において少なくとも前記所定領域に対応する領域に、前記試料の屈折率と略同一の屈折率を持つ物質を配置するものである。

【0027】本発明の第 4 の態様による試料情報取得方法は、テラヘルツ光発生部から発生したテラヘルツ光を試料の所定面の所定領域に導き、前記所定領域で反射されたテラヘルツ光を試料の所定領域より検出部より検出し、前記テラヘルツ光検出部からの検出結果に基づいて前記試料の情報を取得する試料情報取得方法において、前記試料における前記所定面と反対側の面において少なくとも前記所定領域に対応する領域に、前記試料の屈折率と略同一の屈折率を持つ物質を配置するものである。

【0028】本発明の第 5 の態様によるテラヘルツ光装置は、(a) テラヘルツ光発生部と、試料を保持するホ

ルダと、テラヘルツ光検出部と、前記テラヘルツ光発生部から発生したテラヘルツ光を前記ホルダに保持された前記試料の所定面の所定領域に導くとともに前記所定領域で反射されたテラヘルツ光を前記テラヘルツ光検出部に導く光学系と、を備え、(b)前記ホルダは、前記所定面が下側に向いた状態で前記試料を保持し、(c)前記光学系は、前記テラヘルツ光発生部から発生したテラヘルツ光を前記所定面の前記所定領域に下側から入射させ、前記所定領域で反射されたテラヘルツ光を前記テラヘルツ光検出部に導くものである。

【0029】本発明の第6の態様によるテラヘルツ光装置は、前記第5の態様において、前記ホルダは、上側に前記試料を載置し得る載置部を有するとともに、前記所定面を下側にして前記載置部上に載置した前記試料の前記所定領域に対して下側から入射して前記所定領域で反射するテラヘルツ光を通過させるものである。

【0030】

【発明の実施の形態】以下、本発明による試料情報取得方法及びテラヘルツ光装置について、図面を参照して説明する。

【0031】図1は、本発明の一実施の形態によるテラヘルツ光装置を模式的に示す概略構成図である。図2は、図1中のB-B'線に沿った概略断面図である。理解を容易にするため、図1及び図2に示すように、互いに直交するX軸、Y軸及びZ軸を定義する(後述する図3乃至図7についても、同様である。)。XY平面が水平面であり、Z軸方向が鉛直方向と一致しており、+Z方向が上、-Z方向が下である。

【0032】本実施の形態によるテラヘルツ光装置では、図1に示すように、レーザ光源等からなるフェムト秒パルス光源11から放射されたフェムト秒パルス光L1が、ビームスプリッタ12で2つのパルス光L2、L3に分割される。

【0033】ビームスプリッタ12で分割された一方のパルス光L2は、光伝導アンテナ等の光スイッチ素子又はEO結晶などのテラヘルツ光発生器16を励起してこの発生器16にテラヘルツパルス光を発生させるためのポンプ光(パルス励起光)となる。このポンプ光L2は、平面鏡13を経て、光チョッパ14によりチョッピングされた後に、集光レンズ15によりテラヘルツ光発生器16に集光される。なお、テラヘルツ光発生器16として光スイッチ素子を用いる場合には、図示しないバイアス電源によりバイアス電圧がテラヘルツ光発生器16に印加される。

【0034】ビームスプリッタ12で分割された他方のパルス光L3は、テラヘルツパルス光を検出するタイミングを定めるブロープ光(サンプリングパルス光)となる。このブロープ光L3は、平面鏡17、2枚もしくは3枚の平面鏡が組み合わされてなる可動鏡18、平面鏡19、20、21、更には集光レンズ22を経て、テラ

ヘルツ光検出器23へ導かれる。本実施の形態では、検出器23として、ダイポールアンテナを用いた公知の光スイッチ素子が用いられている。

【0035】ブロープ光L3の光路上に配置された可動鏡18は、制御・演算処理部33による制御下で、移動機構35により矢印F方向に移動可能となっている。可動鏡18の移動量に応じて、ブロープ光L3の光路長が変わり、ブロープ光L3が検出器23へ到達する時間が遅延する。すなわち、本実施の形態では、可動鏡18及び移動機構35が、ブロープ光L3の時間遅延装置を構成している。

【0036】発生器16に導かれたポンプ光L2により、発生器16が励起されてテラヘルツパルス光L4を放射する。テラヘルツパルス光L4としては、概ね 0.01×10^{12} から 100×10^{12} ヘルツまでの周波数領域の光が望ましい。このテラヘルツパルス光L4は、放物面鏡等の曲面鏡24を経て平行光に変換された後、放物面鏡等の曲面鏡25及び平面鏡26を経て集光位置に集光される。

【0037】図1及び図2に示すように、テラヘルツパルス光L4の光軸は、発生器16から平面鏡26までの間では水平面内(XY平面と平行な面内)にあるが、平面鏡26の向きが図示のように設定されることにより、平面鏡26と前記集光位置との間では上側に立ち上げられている。

【0038】テラヘルツパルス光L4の集光位置には、試料ホルダ40(図2参照、図1では省略)により下面が水平面(XY平面と平行な面)となるように保持された試料100の当該下面の測定部位(所定の微小の領域)が配置される。試料100は観測試料100a及び参照試料100bを代表して示しており、観測試料100a及び参照試料100bは、互いに交換して試料ホルダ40に保持される。参照試料100bとしては、例えば金属ミラーなどの、屈折率等が既知である部材が用いられる。観測試料100aとしては例えばウエハ等を挙げることができるが、これに限定されるものではない。なお、試料100の局所的な情報ではなく、例えば試料の比較的広い領域の平均的な情報を得たり各局所的な情報の2次元分布を一括して得たりする場合には、テラヘルツパルス光L4を局所的に集光することなく試料100の下面の比較的広い領域を照射するようにしてもよい。

【0039】ここで、前記試料ホルダ40について、図3乃至図5を参照して説明する。図3は、図1中の試料ホルダ40を示す概略斜視図である。図4は、図3に示す試料ホルダ40に試料100を保持させたものを示す概略斜視図である。図5は、図4中のC-C'線に沿った概略断面図である。

【0040】本実施の形態では、試料ホルダ40は、図3乃至図5に示すように、試料保持面となる上面が水平

面となるように図示しない支持部により支持された平板状の載置板として、構成されている。試料ホルダ40の中央付近には、開口40aが形成されている。この開口40aは、試料ホルダ40の上面に載置することにより保持された試料100の下面の測定部位（所定領域）に対して入射して前記測定部位で反射するテラヘルツ光を、通過させる窓部となっている。もっとも、このような窓部は、開口40aに限定されるものではなく、例えば開口40aがテラヘルツ光透過材料で埋められていてもよい。また、試料ホルダ40を構成する載置板全体を、テラヘルツ光透過材料で構成してもよい。

【0041】この試料ホルダ40によれば、前述した図8乃至図10に示す従来の試料ホルダ1と異なり、上面に試料100を単に載置するだけで、試料100が重力で保持される。このため、観測試料100aの下面のZ軸方向の位置と参照試料100bのZ軸方向の位置とを、再現良く同じ位置にすることができる。すなわち、図11中の位置ずれ Δy に相当する位置ずれを、大幅に低減することができる。

【0042】なお、前記試料ホルダ40の上面は、必ずしも水平面に設定する必要はない。試料100がずり落ちない程度であれば、前記試料ホルダ40の上面は傾いていてもよい。また、例えばずり落ち防止用の段部（試料ホルダ40の下寄りの辺が当接する段部）を試料ホルダ40に設けておけば、試料ホルダ40の上面はもっと大きく傾けることも可能である。これらの場合も、試料100が重力で保持されることには変わりがない。なお、試料ホルダ40の上面を傾けた場合には、その傾きに応じて平面鏡26、27の向き等が変更されることは、言うまでもない。

【0043】再び図1及び図2を参照すると、試料100の下面の測定部位で反射されたテラヘルツパルス光L5は、前記集光位置を含みかつYZ平面と平行な面に関して平面鏡26及び曲面鏡25、24とそれぞれ対称に配置された平面鏡27及び曲面鏡28、29を経て、テラヘルツ光検出器23に集光され、検出器23により電場強度が検出されて電流信号に変換される。この電流信号は、電流計30で電圧信号に変換された後、ロックイン増幅器31により、光チョッパー14のチョッピングと同期してロックイン検出される。ロックイン増幅器31の出力信号は、テラヘルツ光の電場強度の検出信号として、A/D変換器32によりA/D変換され、これがコンピュータ等からなる制御・演算処理部33に供給される。

【0044】フェムト秒パルス光源11から放射されるフェムト秒パルス光L1の繰り返し周期は、数kHzから100MHzオーダーである。したがって、発生器16から放射されるテラヘルツパルス光L4も、数kHzから100MHzオーダーの繰り返しで放射される。現在の検出器23では、このテラヘルツパルス光の波形を

瞬時に、その形状のまま計測することは不可能である。

【0045】したがって、本実施の形態では、同じ波形のテラヘルツパルス光L5が数kHzから100MHzオーダーの繰り返しで到来することを利用して、ポンプ光L2とプローブ光L3との間に時間遅延を設けてテラヘルツパルス光L5の波形を計測する、いわゆるポンプ・プローブ法を採用している。すなわち、テラヘルツ光発生器16を作動させるポンプ光L2に対して、テラヘルツ光検出器23を作動させるタイミングを時間 τ だけ遅らせることにより、時間 τ だけ遅れた時点でのテラヘルツパルス光L5の電場強度を検出器23で測定できる。言い換えれば、プローブ光L3は、テラヘルツ光検出器23に対してゲートをかけていることになる。また、可動鏡18を徐々に移動させることは、遅延時間 τ を徐々に変えることにほかならない。前記時間遅延装置によってゲートをかけるタイミングをずらしながら、繰り返し到来するテラヘルツパルス光L5の各遅延時間 τ ごとの時点の電場強度を検出器23から電気信号として順次得ることによって、テラヘルツパルス光L5の電場強度の時系列波形E(τ)を計測することができる。

【0046】本実施の形態では、テラヘルツパルス光の電場強度の時系列波形E(τ)の計測時には、制御・演算処理部33が、移動機構35に制御信号を与えて、前記遅延時間 τ を徐々に変化させながら、A/D変換器32からのデータを制御・演算処理部33内の図示しないメモリに順次格納する。これによって、最終的に、テラヘルツパルス光の電場強度の時系列波形E(τ)を示すデータ全体をメモリに格納する。

【0047】このような時系列波形E(τ)を示すデータを、試料ホルダ40上に参照試料100bを載置した場合と観測試料100aを載置した場合について取得する。制御・演算処理部33は、これらのデータに基づいて、観測試料100aの所望の特性（情報）を求め、これをCRT等の表示部34に表示させる。例えば、制御・演算処理部33は、公知の演算によって、観測試料100aの複素誘電率を求め、これを表示部34に表示させる。

【0048】本実施の形態によれば、前述したように、試料ホルダ40の上面に試料100a、100bを単に載置するだけで、観測試料100aのテラヘルツ光入射側の面（下面）のZ軸方向の位置と参照試料100bのテラヘルツ光入射側の面（下面）のZ軸方向の位置とを、再現良く同じ位置にすることができる。したがって、本実施の形態によれば、前述した従来の補正方法を採用する場合に比べて、測定に手数を要することがないとともに処理が簡単となり、しかも、最終的に得られる観測試料100aの情報の測定精度を向上させることができる。

【0049】ここで、本実施の形態によるテラヘルツ光装置と比較される比較例について、図7を参照して説明

10

20

30

40

50

する。図7は、比較例のテラヘルツ光装置を模式的に示す概略構成図である。図7において、図1中の要素と同一又は対応する要素には同一符号を付し、その重複する説明は省略する。

【0050】この比較例は、従来技術に相当している。この比較例が本実施の形態と異なる所は、平面鏡26、27及び試料100の配置を、図1に示す位置から、図7に示すように、平面鏡26、27の法線が水平面内に位置するように、曲面鏡25及び平面鏡26間のテラヘルツ光の光軸並びに平面鏡27及び曲面鏡28間のテラヘルツ光の光軸を含むX軸と平行な直線を中心として90°回転移動させた点である。これに伴い、比較例では、図7に示すように試料100の面の法線が水平面内に位置することから、図3乃至図5に示す試料ホルダ40に代えて、図8乃至図10に示す試料ホルダ1が用いられている。なお、図7中のX軸、Y軸及びZ軸と図8乃至図10中のX軸、Y軸及びZ軸とはそれぞれ一致している。この比較例では、前述した従来の補正方法を採用しない限り、観測試料100aと参照試料100bとのY軸方向の位置ずれ Δy に起因して、最終的に得られる観測試料100aの情報の測定精度が、大幅に低下してしまう。

【0051】ところで、観測試料100aがウエハなどのような薄い試料である場合には、試料ホルダ40上に観測試料100aを載置した状態で時系列波形E(τ)を示すデータを得るとき、図6に示すように、観測試料100aにおけるテラヘルツ光入射側の面と反対側の面の少なくともテラヘルツ光入射領域に、観測試料100aの屈折率と略同一の屈折率を持つ物質からなる部材102を配置することが、好ましい。図6は部材102を

観測試料100a上に更に配置した図5に対応する概略断面図であり、図6において、図5中の要素と同一の要素には同一符号を付している。

【0052】本実施の形態の場合、観測試料100aにおけるテラヘルツ光入射側の面は下面であるので、部材102を単に観測試料100aの上面に載置するだけでよく、部材102の厚みが厚くてもその配置は極めて容易である。なお、部材102と観測試料100aの上面との間にエアギャップが生ずる可能性がある場合には、観測試料100aの屈折率と略同一の屈折率を持つ接着剤又は充填剤等を適宜介在させてもよい。

【0053】このように部材102を配置すると、入射したテラヘルツ光が観測試料100aの上面で反射されなくなり、代わって部材102の上面で反射されることになる。このため、部材102の厚みが十分に厚ければ、スペクトル分解の高い測定を行う場合でも、観測試料100aの下面で反射した反射光が他の反射光と干渉してしまうような事態が防止され、時系列波形E(τ)をスペクトルに変換しても干渉光の影響が低減され、S/Nの良いデータを得ることができる。すなわち、スペ

クトル分解の良い測定が可能となる。

【0054】例えば、観測試料100aとして500 μ mの厚みのシリコンウエハを用いる場合、シリコンの屈折率を3.417として計算すると、図5に示す状況では、時系列波形E(τ)において、表面反射(下面での反射)による信号の11.39ps(ピコ秒)後に裏面反射(上面での反射)による信号が観測されることになる。これは2.9 cm^{-1} に相当する干渉となり、この影響を観測しないためには、これより低いスペクトル分解で測定しなければならないことになる。これに対し、図6に示すようにこのシリコンウエハ(観測試料100a)の上に厚み1cmのシリコン板(部材102)を載せて測定を行うと、裏面反射(部材102の上面での反射)による信号は239.19ps後に観測されることになり、0.14 cm^{-1} よりスペクトル分解の低い測定では裏面反射による干渉効果は現れないことがわかる。換言すれば、スペクトル分解が2.9 cm^{-1} から0.14 cm^{-1} に向上した測定が可能となる。

【0055】以上、本発明の実施の形態について説明したが、本発明はこの実施の形態に限定されるものではない。

【0056】

【発明の効果】以上説明したように、本発明によれば、測定に手数を要することがないとともに処理が簡単となり、しかも、最終的に得られる試料の情報の測定精度を向上させることができる試料情報取得方法及びテラヘルツ光装置を提供することができる。

【0057】また、本発明によれば、スペクトル分解の良い測定を行うことができる試料情報取得方法を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の一実施の形態によるテラヘルツ光装置を模式的に示す概略構成図である。

【図2】図1中のB-B'線に沿った概略断面図である。

【図3】図1中の試料ホルダを示す概略斜視図である。

【図4】図3に示す試料ホルダに試料を保持させたものを示す概略斜視図である。

【図5】図4中のC-C'線に沿った概略断面図である。

【図6】部材を観測試料上に更に配置した図5に対応する概略断面図である。

【図7】比較例のテラヘルツ光装置を模式的に示す概略構成図である。

【図8】従来の試料ホルダを示す概略斜視図である。

【図9】図8に示す試料ホルダに試料を保持させたものを、異なる角度から見た概略斜視図である。

【図10】図9中のA-A'矢視図である。

【図11】観測試料と参照試料との位置ずれの様子を模式的に示す図である。

13

14

【図12】位置ずれの影響を補正する補正方法を示す説明図である。

【図13】図12に示す補正方法により得られる参照光信号と補正前後の観測光信号との関係を示す波形図である。

【図14】裏面反射の様子を模式的に示す図である。

【符号の説明】

16 テラヘルツ光発生器

23 テラヘルツ光検出器

* 24, 25, 27, 28 曲面鏡

26, 27 平面鏡

100 試料

100a 観測試料

100b 参照試料

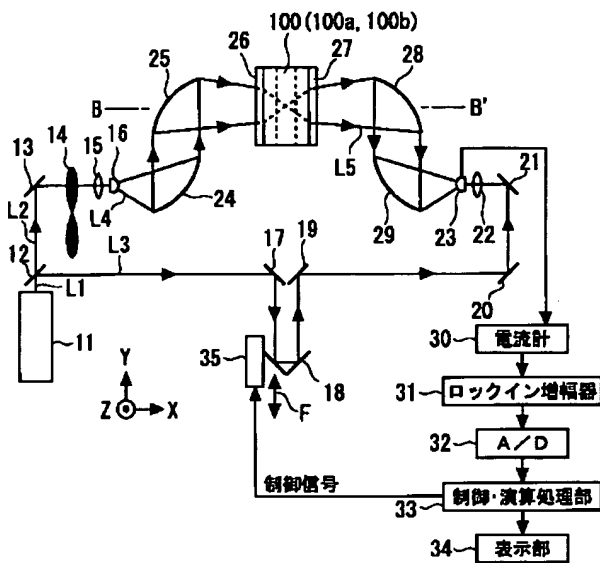
40 試料ホルダ

40a 開口

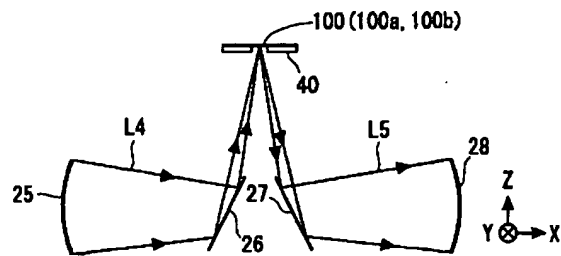
102 観測試料と略同一の屈折率を持つ物質からなる

* 部材

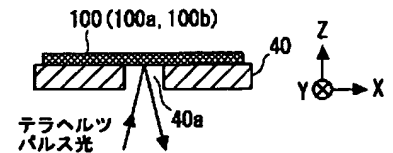
【図1】



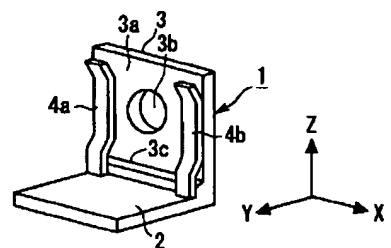
【図2】



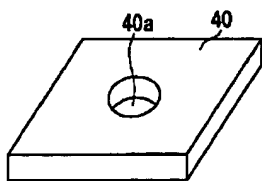
【図5】



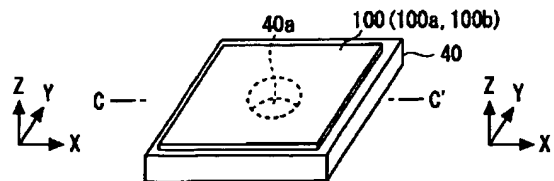
【図8】



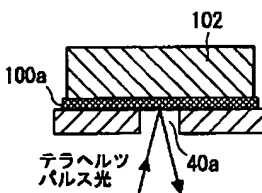
【図3】



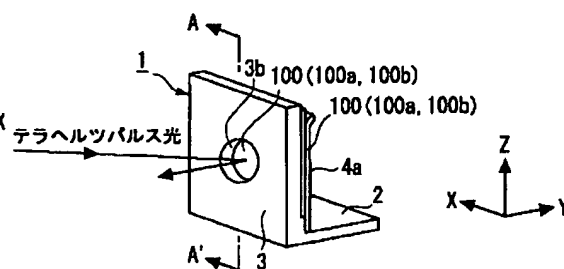
【図4】



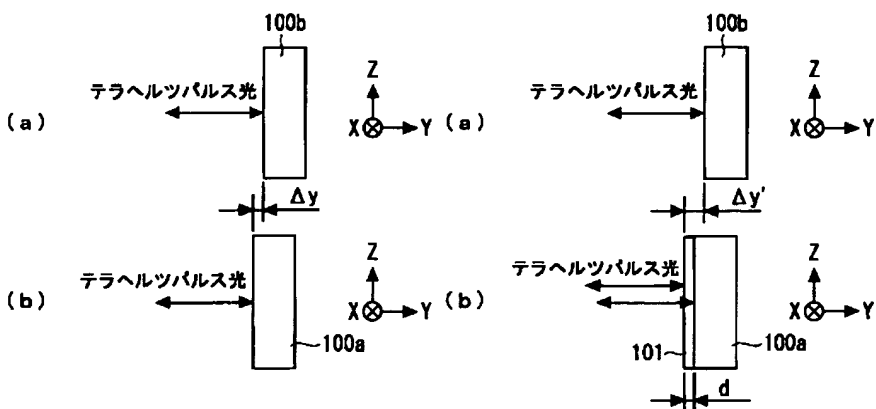
【図6】



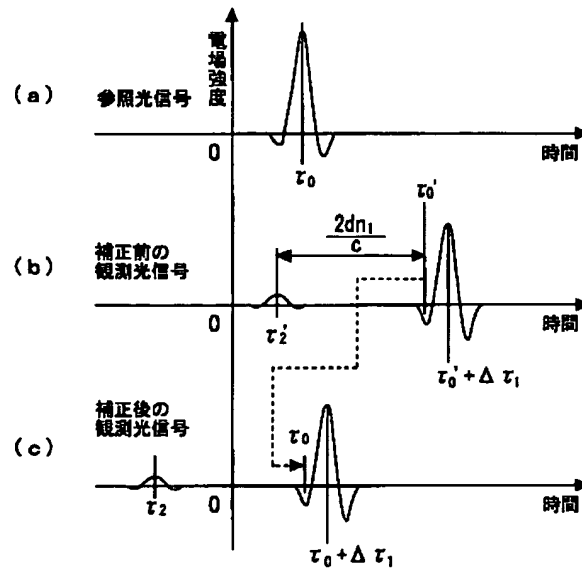
【図9】



【圖 12】



【図13】



フロントページの続き

F ターム(参考) 2G059 AA02 BB16 DD13 EE01 EE02
 EE12 GG01 GG06 GG08 JJ11
 JJ13 JJ14 JJ24 KK01 LL01
 MM01 MM08 MM10 PP04
 5F072 RR10 SS08 YY20